

UDK 624.192.001.3

Primljeno 22. 6. 2005.

Primjena suvremene tehnologije u tunelogradnji

Željko Žderić, Goran Pervan, Đani Radić

Ključne riječi

tuneli,
tunelogradnja,
tehnologija izvedbe,
tunel Sv. Rok,
tuneli do tisuću metara

Key words

tunnels,
tunnelling,
construction technology,
Sv. Rok tunnel,
tunnels of less than one
thousand meters in length

Mots clés

tunnels,
construction des tunnels,
technologie de
construction,
tunnel de Sv. Rok,
tunnels à moins de mille
mètres

Ключевые слова

тоннели,
тоннелестроение,
технология
строительства,
Тоннель Св. Рок,
тоннели до тысячи
метров

Schlüsselworte

Tunnele,
Tunnelbau,
Ausführungstechnologie,
Tunnel Sv. Rok,
Tunnele bis Tausend
Meter Länge

Ž. Žderić, G. Pervan, Đ. Radić

Stručni rad

Primjena suvremene tehnologije u tunelogradnji

Osnovni dio članka opisuje tunele koje je izvodio Konstruktor-inženjering, a na kojima je primijenjena najsuvremenija tehnologija izgradnje tunela. U uvodnom dijelu, uz osnovnu podjelu prema namjeni, dane su i moguće podjele prema drugim svojstvima i kriterijima. Razvrstani su svi tuneli koje je izvodio Konstruktor-inženjering. Posebno su opisane izvedbe tunela Sv. Rok i grupa tunela duljine do tisuću metara. Istaknuta je visoka osposobljenost tvrtke za radove u tunelogradnji.

Ž. Žderić, G. Pervan, Đ. Radić

Professional paper

Use of modern technologies in tunnelling

The paper mostly focuses on tunnels realized by Konstruktor-inženjering using the state-of-the-art tunnelling technologies. In the introductory portion of the paper, the facilities are classified not only according to their use but also according to some other significant properties and criteria. The classification of all tunnels realized by Konstruktor-inženjering is given. The realization of the Sv. Rok tunnel, and construction of the group of tunnels of less than one thousand meters in length, is described in more detail. The company's high competence and capabilities in tunnel construction are emphasized.

Ž. Žderić, G. Pervan, Đ. Radić

Ouvrage professionnel

L'emploi des technologies modernes dans la construction de tunnels

Les tunnels réalisés par Konstruktor-inženjering en utilisant les technologies avancées de construction sont présentés. Dans la partie initiale, les ouvrages sont classifiés non seulement selon leur usage mais aussi selon quelques autres critères et caractéristiques importantes. La classification de tous les tunnels réalisés par Konstruktor-inženjering est donnée. La réalisation du tunnel de Sv. Rok, et la construction d'un groupe des tunnels à moins de une mille mètres de longueur, est décrite en plus de détail. La compétence élevée démontrée par la société dans la réalisation des tunnels est mise en relief.

Ж. Ждерич, Г. Перван, Дж. Радич

Отраслевая работа

Применение современной технологии в тоннелестроении

В основной части статьи описываются тоннели, возведённые Конструктор-инженерингом, а на которых применялась современнейшая технология строительства тоннелей. В введении, при основном распределении, согласно назначению, даны и возможные распределения по другим свойствам и критериям. Классифицированы все тоннели, построенные Конструктор-инженерингом. Специально описаны возведения тоннеля Св. Рок и группа тоннелей длиной до тысячи метров. Подчёркнута высокая квалифицированность фирмы по работам в тоннелестроении.

Ž. Žderić, G. Pervan, Đ. Radić

Fachbericht

Anwendung zeitgemässer Technologie im Tunnelbau

Der grundlegende Teil des Artikels beschreibt die Tunnele die Konstruktor-inženjering ausführte, und bei welchen die modernste Technologie des Tunnelbaus angewendet war. In der Einleitung präsentiert man, neben der Grundaufteilung nach der Bestimmung, auch die möglichen Aufteilungen nach anderen Eigenschaften und Kriterien. Eingeordnet sind alle Tunnele die Konstruktor - inženjering ausführte. Abgesondert beschreibt man die Ausführungen des Tunnels Sv. Rok und einer Gruppe von Tunnelen bis Tausend Meter Länge. Hervorgehoben ist die hohe Befähigung der Firma für Arbeiten im Tunnelbau.

Autori: **Željko Žderić**, dipl. ing. građ., generalni direktor; **Goran Pervan**, dipl. ing. građ., glavni inženjer projekta; **Đani Radić**, dipl. ing. geot., glavni inženjer gradilišta, Konstruktor-inženjering, d.d., Svačićeva 4/1

1 Uvod

Pri opisu i prikazu tehnologija primijenjenih u izvedbi tunela, dobro je prikazati i moguće podjele tunela prema različitim kriterijima. Osnovna je podjela prema namjeni (cestovni, željeznički, hidrotehnički), ali osim te podjele tuneli se mogu razvrstavati po drugim kriterijima odnosno karakteristikama kao što su: duljina, veličina poprečnog profila, tlo kroz koje prolaze, ograničenje iskopa, tehnologija izvedbe i dr. Od pojedinih svojstava kao što su duljina, profili, tlo ovise i organizacija iskopa i tehnologija izvedbe.

Ovdje se navode neke moguće podjele tunela koje je izveo *Konstruktor-inženjering*:

1. prema namjeni tunela :
 - a) cestovni tuneli: Sv. Rok, Ledenik, Dubrave, Vrtlinovec, Konjsko, Bisko
 - b) hidrotehnički tuneli: Stupe, Grude;
2. prema duljini tunela:
 - a) tuneli srednje duljine od 500 - 2 000 m: Ledenik, Dubrave, Bisko, Vrtlinovec, Konjsko, Javorova kosa, Pod Vugleš, Rožman brdo,
 - b) vrlo dugi tuneli dulji od 4 000 m: Sv. Rok, Konjsko, Stupe, Grude;
3. prema veličini presjeka:
 - a) mali presjek do 20 m²: Stupe, Grude,
 - b) srednji tunelski presjek do 60 m²: Sv. Rok, Ledenik, Dubrave, Vrtlinovec, Konjsko, Bisko,
 - c) tuneli velikog presjeka do 120 m²: dijelovi tunela Sv. Rok – okretišta i zaustavne niše (približno 1 000 m);
4. prema organizaciji iskopa:
 - a) izvođenje samo jedne cijevi: Sv. Rok (većim dijelom), Javorova kosa, Stupe, Grude,
 - b) istodobno izvođenje obje cijevi: Sv. Rok (središnji dio), Ledenik, Dubrave, Vrtlinovec, Konjsko, Bisko;
5. prema tehnologiji i vrsti zaštite iskopa:
 - a) tuneli s klasičnim podgradama po NATM: Sv. Rok, Ledenik, Dubrave, Bisko, Stupe, Grude, Konjsko
 - b) tuneli s dodatnom zaštitom *cijevnim kišobranom (pipe roof)* u mekanim materijalima: Vrtlinovac, Konjsko, Javorova kosa, Rožman brdo.

Skupine cestovnih tunela možemo dalje podijeliti na dvije grupe:

- a) vrlo dugi tuneli – više od 4 000,0 m
- b) srednje dugi tuneli – 500 do 2 000,0 m

Važna je i moguća podjela tunela prema težini izvedbe ovisno o geološko-geotehničkim svojstvima tla kroz koje prolaze (npr. stijenski sastav). Takvoj podjeli pripadaju:

- a) srednje teški tuneli
- b) teški tuneli
- c) vrlo teški tuneli

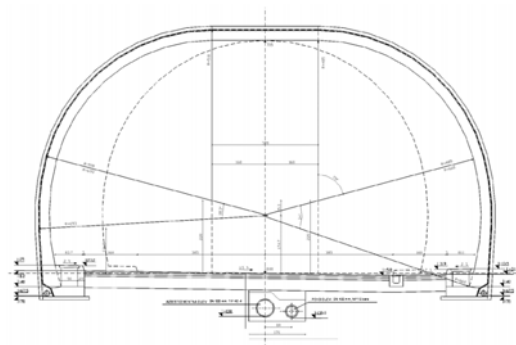
U ovom će se članku opisati tuneli koje je izveo *Konstruktor-inženjering* u posljednjih deset godina, pri čemu će biti istaknuto ili će se iz prikaza vidjeti kojoj kategoriji iz navedenih podjela pripadaju pojedini tuneli.

2 Tunel Sveti Rok

Od vrlo dugih tunela, koje je izvodio *Konstruktor-inženjering* svakako kao najvažniji treba istaknuti tunel Sv. Rok. Tunel Sv. Rok nalazi se na trasi autoceste Zagreb – Split i jedan je od dva najdulja cestovna tunela u Republici Hrvatskoj i u cjelini je hrvatsko djelo. Ulazi u skupinu tunela s velikim nadslojem (450 m) te prolazi kroz masiv Velebita ispod Tulovih greda. Projektiran je s dvije tunelske cijevi s osnim razmakom 35 m. Tunelske cijevi su duljine 5 685,00 m i 5 766,00 m s portalnim građevinama.

Jedna od tunelskih cijevi puštena je u promet i sastavni je dio autoceste, dok je druga cijev potpuno iskopana i uređena u *rohbau* izvedbi.

Specifičnost je ovoga tunela da je iskop rađen sekvencijalno, tj. djelomičnim napredovanjem na jednom čelu, a u unutrašnjem dijelu i na više radnih čela istodobno.



Slika 1. Poprečni profil proširenja u tunelu

Prvi put je na ovome tunelu primijenjen neelektrični sustav miniranja (koji je omogućio veću sigurnost i učinkovitost na iskopu tunela), koji je od tada do danas primijenjen na svim ostalim izgrađenim tunelima i tunelima koji se trenutno grade u Hrvatskoj.

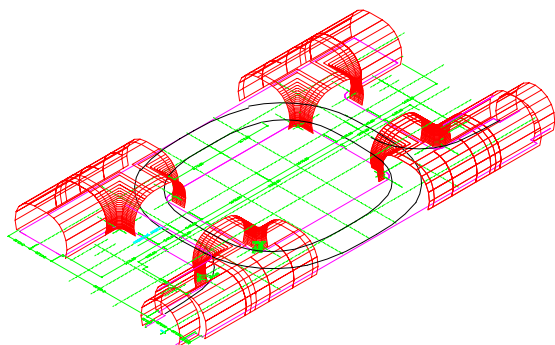
Posebno je važno istaknuti da je na ovoj građevini projektirano i izvedeno dvanaest zaustavnih niša i četiri okretišta sa po dva poprečna prolaza koja spajaju lijevu i desnu tunelsku cijev. Upravo na ovim lokacijama uz oplatu normalnog poprečnog presjeka tunela (58,09 m²)

bilo je potrebno pribaviti i posebne oplata za betoniranje sekundarne betonske obloge na ovim lokacijama.



Slika 2. Iskop tunela bušenjem

Danas ovi dijelovi tunela u građevinskom smislu predstavljaju vrlo složene cjeline.



Slika 3. Prikaz okretišta u tunelu Sv. Rok

Kao što je rečeno tunel Sv. Rok pripada vrlo dugim tunelima s velikim nadslojem, a po težini izvedbe iskopa pripada srednje teškim tunelima u raspucanim kraškim terenima s upotrebom lake podgrade. Kao i ostali tuneli



Slika 4. Detalj spajanja oplata za betoniranje dijela okretišta

tako je i tunel Sv. Rok rađen po NATM – tunelskoj metodi građenja.



Slika 5. Pogled na portal desne tune cijevi Sv. Roka

3 Tuneli do 1 000 m duljine

Važno se osvrnuti i na srednje duge tunele (od 500 do 2 000 m). Od ovih tunela prema težini izvedbe treba izdvojiti tunele: Ledenik, Dubrave, Konjsko, Rožman brdo, Pod Vugleš, Javorova kosa, Bisko. Svi navedeni tuneli su cestovni tuneli.

Tuneli Ledenik, Dubrave i Bisko pripadaju srednje teškim tunelima u raspucanim stijenama s upotrebom lake i teške podgrade.

Od srednje dugih tunela treba spomenuti i hidrotehničke tunele Stupe u sklopu EKO - Kaštelanskog zaljeva te Grude u sklopu hidroelektrane Peć Mlini u Bosni i Hercegovini, koji su izgrađeni u posljednjih pet godina posebnom tehnologijom.

Tako tunel Ledenik koji se nalazi na dionici autoceste od Sv. Roka do Maslenice, duljine lijeve cijevi 748,00 m, a desne cijevi 764,00 m, zajedno s portalnim građevinama, pripada tunelima s malim nadslojem (prosječno 40 m) i nepovoljne geološke građe. Kao specifičnost va



Slika 6. Pogled na sjeverne portale tunela Ledenik



Slika 7. Panoramski pogled na područje tunela Ledenik, Čelinka i Bristovac

Ija naglasiti rad na obje strane, tj. paralelno na četiri radna "čela". Rad na iskopu i betoniranju ovog tunela funkcionirao je kao dva odvojena gradilišta sa svom potrebnom opremom i odvojenom mehanizacijom.

Bitno je naglasiti da je ovaj tunel od početka iskopa do samog kraja svih građevinskih radova bio završen za devet i pol mjeseci, što je svojevrsan rekord građenja tunela kod nas, ali i dokazuje mogućnosti *Konstruktor-inženjeringa* za radove u tunelogradnji.

Na ovoj dionici *Konstruktor-inženjering* ugovorio je i radove na tunelu Čelinka.

Još jedan u nizu tunela, a koji je završen i pušten u promet (5./2004.) jest tunel Dubrave na dionici autoceste od Vrpolja do Prgometa. Ovaj tunel pripada istoj kategoriji kao i tunel Ledenik, s prosječnim nadslojem od svega 25 m, te osnim razmakom tunelskih cijevi od 47 m. Duljina tunelskih cijevi je 810,50 m, odnosno 779,50 m. Bitno je reći da je i ovaj tunel zbog navedenih karakteristika bio složen jer se radilo o veoma kratkom roku gradnje. Svi građevinski radovi na tunelu završeni su za devet mjeseci.



Slika 8. Radovi u unutrašnjosti tunela Dubrave

Za razliku od ostalih, ovaj tunel ima jedan od najljepše uređenih predusjeka (portala) pa bi kao uzor trebao služiti i ostalim tunelima na autocesti Zagreb – Split.



Slika 9. Pogled na dovršene portale tunela Dubrave

Navodimo i tunel Bisko kojega gradnja je trenutno pred završetkom, a nalazi se na novoj dionici Dugopolje-Bisko autoceste Zagreb-Split-Dubrovnik. Duljina tunela je 2×500 m. Tunel Bisko pripada padinskim tunelima s malim prosječnim nadslojem (25 m) te osovinskim razmakom od 25 m.

Zbog potrebe nastavka gradnje autoceste bilo je nužno iskop tunela organizirati kao paralelan rad na obje strane tj. na sva četiri portala istodobno.

Radovi su počeli u kolovozu 2004., dakle 10 mjeseci ranije nego na cijeloj dionici iz razloga što je bilo bitno izvesti ovaj tunel radi pristupa te uopće mogućnosti rada u dijelu ove dionice.



Slika 10. Pogled Završni radovi na portalima

Na ovome ćemo mjestu spomenuti i jedan tunel duljine preko 1 000 m. To je tunel Konjsko koji po karakteristikama geološke građe pripada i srednje teškim, teškim i

vrlo teškim tunelima. Nalazi se na dionici autoceste Zagreb – Split od Prgometa do Dugopolja. Projektiran je i izveden sa dvije tunelske cijevi duljina 1 265,80 m i 1 137,90 m, uključujući i portalne građevine. U ovom je tunelu primijenjena i tehnologija gradnje *pipe-roof* (*cijevni kišobran*), tj. iskop je izvršen u izrazito raspadnutim i trošnim stijenama s pojavom dotoka vode.

3 Zaštita tunelske kalote cijevnim kišobranima

Izgradnja tunela u materijalima loših geomehaničkih karakteristika problematična je i vrlo složena. Izrazita nestabilnost tih materijala nakon izvršenog iskopa zahtijeva vrlo brzu izradu primarne podgrade, uz vrlo rizičnu stabilizaciju kalote tunela. Razvojem metode *cijevnog kišobrana* kao dodatnog osiguranja kalotnom dijelu vrlo je efikasno riješena stabilnost kalote, a rad na iskopu znatno je sigurniji i efikasniji.



Slika 11. Lasersko određivanje smjera cijevi

Cijevni kišobran je sustav zacičljenih i injektiranih bušotina u konturi kalote tunela. Cijevi su najčešće duljine 15,0 m na međusobnom razmaku od 30 - 35 m injektirane pod tlakom od 20 bara. Uobičajeni preklap je 3,0 m, što znači da se pod jednim *cijevnim kišobranom* izvrši iskop tunela u duljini od 12 m. Cijevi se buše pod nagibom (do 5°) i radijalno kako bi se nakon 12,0 m ostvarilo nadvišenje (prostor) za bušenje novoga *cijevnog kišobrana*. Smjer bušenja određuje se najčešće geodetski i u kombinaciji s laserom postavljenim u fokusu.

Nakon ugradnje cijevi za *cijevni kišobran* obavljaju se iskop i ugradnja primarne podgrade sustavom "korak po korak". Iскоп se najčešće obavlja u kampadama od 1,0 m i to u više faza (najčešće 3: kalota, *benč* i podnožni svod). Primarna se podgrada sastoji od rešetkastih čeličnih lukova, armaturnih mreža i mlaznog betona debljine $d = 30$ cm. Kroz ovako formiranu armiranobetonsku podgradu radijalno se buše i ugrađuju samobušeca sidra uz injektiranje cementnom smjesom pod tlakom. Posebnu pažnju treba posvetiti permanentnom geodetskom pra-

ćenju konvergencije tunela, da bi se odredili pomaci (smjer, veličina, prirast) i usporedili s predviđenim.

Ovaj način zaštite kalote primijenjen je na tunelima: Javorova kosa (dio tunela), Konjsko (zapadna strana) i Vrtlinovec (u cijeloj duljini).

Tunel Vrtlinovec je primjer tunela u materijalu izrazito loših karakteristika i velike ploštine iskopa (oko 123 m²), što ga je svrstalo u najtežu kategoriju za izvođenje. Primijenjen je "cijevni kišobran" od 35 cijevi duljine 15 m, s preklapom od 3 m. Cijevi su izrađene od pojedinačnih cijevi duljine 3 m, međusobno spojenih i ugrađenih uz pomoć postojeće tunelske opreme.

Oprema i ljudi dimenzionirani su za optimalni rad u obje cijevi paralelno ali s pomakom faza u svakoj cijevi, koji omogućuje najbolje iskorištavanje svih resursa. Izuzetno zahtjevni rok gradnje tunela ostvaren je dobrom



Slika 12. Bušenje i ugradnja cijevi za *cijevni kišobran*

organizacijom, izvrsnim učincima i dobrim zalaganjem te je tunel pušten u promet i prije ugovorenog roka.

Vrlo je bitno naglasiti da su svi tuneli, a pogotovo oni na autocesti Zagreb – Split rađeni najmodernijom svjetloskom tehnologijom s iznimno kratkim rokovima izvođenja, koji nisu utjecali na kvalitetu izvedenih radova.

4 Zaključak

Prikazan je desetogodišnji rad *Konstruktor-inženjeringa* na izvođenju tunela.

Uglavnom se radilo o cestovnim tunelima na dionicama autoceste, počev od najsjevernijeg tunela Vrtlinovec pokraj Varaždina do zadnjeg tunela Konjsko pokraj Splita, prolazeći kroz tunel Sv. Rok, za koji se može reći da je odredio trasu autoceste Zagreb – Split.

Tuneli su bili raznih profila (malih do velikih tunelskih profila), raznih duljina (srednji i vrlo dugi), s jednom ili dvije cijevi, i prolazili su kroz materijale različitih geo-

mehaničkih svojstava. Kod svih tunela primjenjivala se nova austrijska metoda (NATM), što je i uobičajena praksa svjetske tunelogradnje.

U ovom razdoblju napravljena su i dva duga hidrotehnička tunela koji zbog svog relativno malog presjeka postavljaju izvođaču dodatne zahtjeve organizacije i tehnologije građenja.

U pojedinom razdoblju gradnje *Konstruktor-inženjering* d.d. je istodobno obavljao iskop i osiguranje iskopa u pet različitih tunela, od kojih su neki građeni s obje strane i to su uglavnom bili tuneli sa dvije paralelne cijevi, što najbolje pokazuje kapacitete u tunelogradnji. Pri tome je sve do izvedeno u ekstremno kratkim rokovima, uz visoku kvalitetu.

Posebno je važno napomenuti da je mladi inženjerski kadar u ovome razdoblju stekao iskustvo i temelj je daljnjeg razvoja tunelogradnje ne samo u *Konstruktor-inženjeringu* d.d. nego i u Hrvatskoj.

Na kraju svakako treba istaknuti da u nastavku građenja autoceste od Splita do Dubrovnika osobitu pozornost valja posvetiti početku izvođenja svih tunela, jer tuneli ipak pripadaju kritičnim građevinama na svim dionicama pa ih je potrebno posebno promatrati. Pod tim se misli da tunele nije moguće graditi brže (za razliku npr. od trase) zbog specifične tehnologije i pristupačnosti, a da pritom budu poštovani rokovi, sigurnost rada i kvaliteta radova.

Shodno tome na ovim su novim dionicama već izgrađeni tuneli Bisko i Zaranać na dionici Dugopolje – Bisko, koji će omogućiti prolaz za lakši rad pri nastavku radova na trasi ove dionice.

IZVORI

[1] Projektna dokumentacija i arhiva *Konstruktor-inženjeringa*